



***Laborationsrapport för eget projekt: Analog och Digital
Temperaturmätare***

Lärosäte: Linnéuniversitetet, Växjö

Institution: Institution för fysik och elektroteknik (IFE)

Kurs: Elektronik (1ED041)

Kursansvarig: Ellie Cijvat

Grupp: Etkä Kocak, Aiman Daeef, Sanaa Abdoulkader

Datum: 02/06/2023



Innehåll

1. Introduktion

Detta projekt handlar om jämförande analys av två kretsar som är byggda för att kunna mäta temperaturen. En analog krets och en digital krets kommer att kopplas och analyseras. För analog kretsen kommer en datorsimulering utföras först och sedan mätning med riktigt kopplad krets. Det primära målet är att mäta temperaturen noggrant med båda kretsarna och sedan jämföra dess resultatet. Dessutom kommer strömförbrukning mätas och jämföras hos dessa kretsar. Dessutom bestäms vilken krets har bättre noggrannhet och är mer prisvärd att använda.

Den analog kretsen använder en diod(1N4148) och en transistor(BC547B) för temperaturmätning, medan den digitala kretsen använder en Arduino Uno tillsammans med en DHT11 temperatursensor. En nyckelaspekt i detta projekt är jämförelsen av temperaturmätningarnas noggrannhet mellan analog och digital kretsarna.

Förutom temperaturmätning kommer strömförbrukningen för kretsarna att kvantifieras. Energieffektivitet är en kritisk faktor i elektroniska system. Genom att utvärdera strömförbrukningen för kretsarna kan vi bedöma deras prestanda i termer av energibesparing. Denna analys kommer att bidra till förståelsen av avvägningar mellan noggrannhet och energieffektivitet.

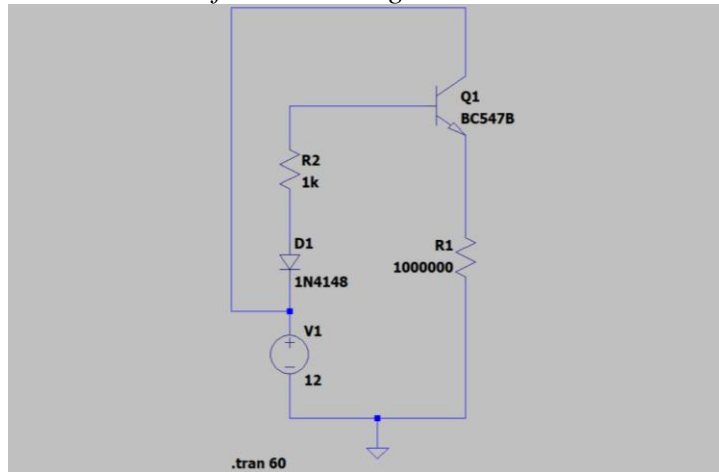
En diod kan användas som en temperatursensor genom dess temperaturberoende bakspänning över anod av en diod. Genom att lösa en differentialekvation kan temperaturändring som motsvarar en given diodström beräknas. [1]

Genom att observera det exponentiella beroendet av diodströmmen med temperaturen och modellera det med en ekvation kan en diod användas som en temperatursensor. Genom att mäta diodströmmen kan temperaturen extrapoleras med hjälp av en matematisk formel. [2]

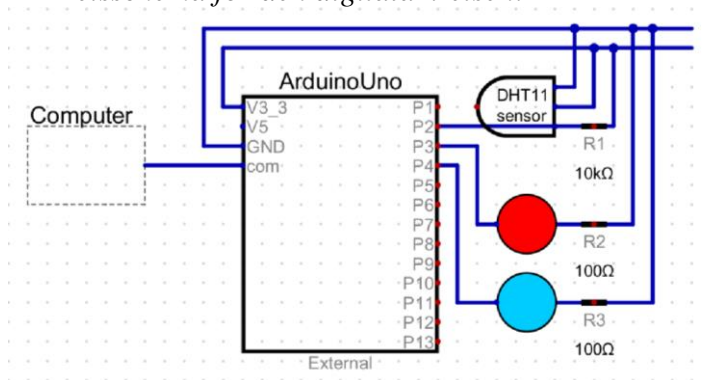


2. Uppsättning och uppgiften

1- Kretsschema för den analoga kretsen:



2- Kretsschema för den digitala kretsen:



Den analoga kretsen simulerades först med hjälp av LTspice och beräkningarna för att hitta temperaturen i celsius som ges av analog kretsen i simulering har genomförts. Eftersom det inte finns några faktorer som uppvärmning eller kylning av dioden i simuleringen ligger värden av strömmen och spänningen nära de resultat som en diod kan ge vid temperatur på 25 grader i celsius. Dessa resultat kommer också att jämföras med resultaten som ska komma från faktisk kopplad analog krets med diod vid rumstemperatur.

Den digitala kretsen kommer inte att simuleras och ska användas mest för att få den exakta temperaturen i celsius för att undersöka hur rimliga resultat som fås från analog kretsen. Båda kretsarnas strömförbrukning ska undersökas och jämföras till sist.

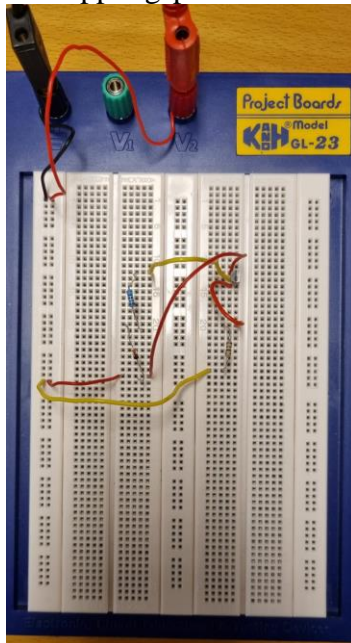
Materiallistan:

- LTspice (mjukvara)
- Arduino IDE (mjukvara)
- Arduino UNO
- Spänningskälla

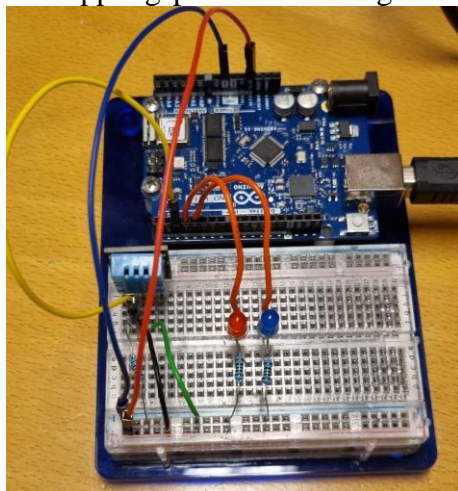
- Kopplingsplattor
- Kopplingskablar
- Labbsladdar
- Olika resistanser (2x100Ω, 1x10kΩ, 1x1MΩ, 1x1000Ω)
- 2 LED (röd och blå)
- DHT11 temperatursensor
- Diod 1N4148
- Transistor BC547B

3. Resultat

3- Kopplingsplatta för den analoga kretsen:



4- Kopplingsplatta för den digitala kretsen:





Programmering: Arduino kod för den digitala kretsen:

```
#include <DHT.h>

#define DHTPIN 2
#define DHTTYPE DHT11

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
int rodLed = 3;
int blaLed = 4;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  dht.begin();
  pinMode(rodLed, OUTPUT);
  pinMode(blaLed, OUTPUT);

  digitalWrite(rodLed, HIGH);
}

void loop() {
  delay(2000);

  float temperature = dht.readTemperature();

  if (isnan(temperature)) {
    digitalWrite(rodLed, HIGH);
    digitalWrite(blaLed, LOW);
    Serial.println("Dataöverföring från sensorn misslyckades.");
  }
  else {
    digitalWrite(rodLed, LOW);

    if (temperature < 20.0) {
      digitalWrite(blaLed, HIGH);
    } else {
      digitalWrite(blaLed, LOW);
    }

    Serial.print("Temperatur: ");
    Serial.print(temperature);
    Serial.println(" °C");
  }
}
```



DHT11 har 3 ben som ska kopplas, Vcc, ground och signal. Vcc kopplas till spänning alltså 3.3V utgången från Arduino. Ground kopplas till GND utgången från Arduino. Signal kopplas till en av pin utgång från Arduino, till pin 2 vilket också definierades i koden. Signal behöver också få spänning och kopplas till 3.3V med en 10kΩ resistor. Det finns också 2 LED (en röd och en blå) i kretsen. Röd LED är på när sensorn startas och är av så länge det går att få temperaturdata från DHT11 sensorn. Om det inte kommer temperaturdata från sensorn vilket betyder att det finns något fel i koppling då börjar den röda LEDen att blinka. Den blåa LEDen blinker endast om temperaturen ligger under 20 grader i celsius vilket betyder att rummet är för kallt. Den digitala kretsen gav olika värde mellan **23,8°C – 23,9°C** när mätningarna för analog kretsen med diod vid rumstemperatur genomfördes.

Formel: Differentialekvation som beskriver hur diodströmmen (I_0) ändras med temperaturen (T):

$$\frac{d(I_0(T))}{dT} = I_0(T_0) * \left[\left(\frac{m}{T} \right) * \left(q * \frac{VGO}{kT^2} \right) * \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right]$$

Där:

- $\frac{d(I_0(T))}{dT}$ = Derivata av $I_0(T)$ med avseende på T. Det betyder hur $I_0(T)$ förändras när temperaturen ändras.
- I_0 = Diodsströmmen
- T = Temperaturen i kelvin som söks.
- $I_0(T_0) = 25 \mu A$. Konstanten för diodströmmen vid referenstemperaturen T_0 . Det är den ursprungliga diodströmmen som jämförs med för att beräkna förändringen i ström.
- $T_0 = 300K(27^\circ C)$. Konstant för referenstemperaturen i kelvin.
- m = 1,5. Konstant som beskriver förhållandet mellan diodströmmen och temperaturen.
- q = $1,6 * 10^{-19}$. Konstant för laddningen för en elektron.
- VGO = 1,2 V. Konstant för spänningen över dioden vid referenstemperaturen $T_0(300K)$. Det används för att justera förändringen i ström med temperaturen.
- k = $1,38 * 10^{-23} J/K$. Boltzmanns konstant.

Enligt differentialekvationen ovan blir temperaturen **T = 297,739K = 24,59°C** när mätningarna gjordes för diod vid rumstemperatur där diodsströmmen $I_0 = 16mA$. Dessa mätningar gjordes när digital krets också mätte temperatur i samma rum och gav resultat mellan **23,8°C – 23,9°C**.

Efter dioden värmdes upp med hjälp av Z2aT6 handvärmare, och då mättes diodströmmen till $I_0 = 21mA$ med hjälp av digital multimeter. Efter att ha utfört beräkningarna med Newton-Raphsons metod och den angivna toleransen på $f(T_n)$ på 1×10^{-6} , har följande resultat fått för temperaturen:

T ≈ 311,801K vilket motsvarar cirka **38,651°C**. Dessa mätningar gjordes när digital krets också mätte temperatur efter att värmdes upp på samma Z2aT6 och samma tid och gav resultat mellan **37,3°C – 37,6°C**



Efter dioden kylades upp med hjälp av is, och då mättes diodströmmen till $I_0 = 10\text{mA}$ med hjälp av digital multimeter. Efter att ha utfört beräkningarna med Newton-Raphsons metod och den angivna toleransen på $f(T_n)$ på 1×10^{-6} , har följande resultat fått för temperaturen:

$T \approx 275,072\text{K}$ vilket motsvarar cirka $1,922^\circ\text{C}$. Dessa mätningar gjordes när digital krets också mätte temperatur efter att kylades på samma Z2aT6 samma tid och gav resultat mellan $0,5^\circ\text{C} - 0,8^\circ\text{C}$

Efter resultaten som fått ovan väntades en stund för att dioden skulle värmas upp, och då mättes diodströmmen till $I_0 = 12\text{mA}$ med hjälp av digital multimeter. Efter att ha utfört beräkningarna med Newton-Raphsons metod och den angivna toleransen på $f(T_n)$ på 1×10^{-6} , har följande resultat fått för temperaturen:

$T \approx 287,61\text{K}$ vilket motsvarar cirka $14,46^\circ\text{C}$. Efter samma tid fick vi resultat av sensor som var mellan $13,8^\circ\text{C} - 14,0^\circ\text{C}$

Temperatur:	Analog krets	Digital krets	Simulering
Vid rumstemperatur	24,59°C	Mellan 23,8°C-23,9°C	24,94°C
Efter att kyla	1,922°C	Mellan 0,5°C-0,8°C	24,94°C
Efter vis tid av kylning	14,46°C	Mellan 13,8°C-14,0°C	24,94°C
Efter att värma	38,651°C	Mellan 37,3°C-37,6°C	24,94°C

I simuleringen av analog kretsen mättes diodströmmen till $I_0 = 16,222586\text{mA}$ i LTspice. Efter att ha utfört beräkningarna med Newton-Raphsons metod och den angivna toleransen på $f(T_n)$ på 1×10^{-6} , har följande resultat fått för temperaturen: $T \approx 298,09\text{K}$ vilket motsvarar cirka $24,94^\circ\text{C}$.

Förutom temperaturmätning noggrannhet var en annan viktig fråga strömförbrukning av dessa två kretsar. Elförbrukning faktureras med enheten kilowattimmar (kWh). För att kunna mäta strömförbrukningen ska formeln:

$$W = V * I * t$$

Där: W = watt, V = spänning, I = ström, t = tid i timmar.

Den analoga kretsen förbrukar 12 V spänning då blir $V = 12$. Hela analog kretsens förbrukning av ström mättes till 192,4 mA (0,1924 A) då blir $I = 0,1924$. Om temperaturen i ett rum antas mätas under hela dagen, innebär det att enheten kommer att vara påslagen i 24 timmar då blir $t = 24$. Kretsen förbrukar då:

$$W = 12 * 0,1924 * 24 = 55,4112$$

Under en månad blir det $55,4112 * 30 = 1662,336$, för att kunna omvandla det till kWh:



$$1662,336 / 1000 = \mathbf{1,662336 \text{ kWh}}$$

Den digitala kretsen förbrukar 3,3 V spänning då blir $V = 3,3$. Hela digital kretsens förbrukning av ström mättes till 74 mA (0,074 A) då blir $I = 0,074$. Om temperaturen i ett rum antas mätas under hela dagen, innebär det att enheten kommer att vara påslagen i 24 timmar då blir $t = 24$. Kretsen förbrukar då:

$$W = 3,3 * 0,074 * 24 = \mathbf{5,8608}$$

Under en månad blir det $5,8608 * 30 = 175,824$, för att kunna omvandla det till kWh:
 $175,824 / 1000 = \mathbf{0,175824 \text{ kWh}}$

Felkälla:

För att vara noga med jämföring behöver vi mäta fler temperaturer med både analog och digital. Att höja temperatur upp till 80°C och sänka till -10°C planerades men det lyckades inte att få så höga och låga temperatur. Det kan inte generaliseras till andra höga och låga nivåer av temperatur. Den analog kretsen kan vara mer eller mindre exakt än digital krets vid högre eller lägre temperatur.

4. Diskussion och slutsats

Det första som är viktiga är resultat och hur noggrann en analog krets mäta temperatur. Till exempel i laborationsrummet mätte den digitala kretsen mellan 23,8°C – 23,9°C och den analoga kretsen mätte samtidigt 24,59°C vilket betyder att analog kretsen som byggdes kan mäta temperaturen ganska nära den riktig temperaturen. Små skillnaden kan troligtvis bero på byggningsprocess av kretsen. Under byggnad av kretsen hände det små problem som orsakade att kretsen inte fungerade som den ska. Därför byggdes vissa delar i kretsen om flera gånger och diod kopplades ur och in flera gånger vilket troligtvis orsakade att dioden blev lite varmare och gav lite högre resultat.

Högre ström av diod motsvarar högre temperatur och mindre ström motsvarar mindre temperatur. 21 mA motsvarade 38,651°C, 16 mA motsvarade 24,59°C, 12 mA motsvarade 14,46°C, 10 mA motsvarade 1,922°C och 1,222586 mA motsvarade -0,92°C. Det visar diodens temperaturberoende ströms fall och ökning. Anledningen till diodström i simulering är mycket mindre än faktisk kopplad krets är att det inte finns någon diodvärme faktor i simuleringen. Temperaturen av 1N4148-dioden ignoreras helt i LTspice simuleringen. Därför temperaturen är mycket nära till noll enligt beräkningarna. Strömmen i dioden är konstant i simuleringen. Detta är dock inte fallet i den verkliga kretsen eftersom diodens ström i verkligheten varierar med diodens temperatur.

Analog kretsen kostar mer än digital krets när det gäller strömförbrukning. El kostar ungefär 3 kr per kWh i Växjö (elområde 4). Vilket betyder att digital kretsen kostar ungefär 0,52 kr ($0,175824 * 3$) och analog kretsen kostar ungefär 5 kr ($1,662336 * 3$) per månad. Anledningen till att analog krets förbrukar mycket mer ström beror på spänningen som olika kretsar förbrukar. DHT11 är en digital temperaturssensor som fungerar med 3.3 V spänning. Däremot analog kretsen krävde en spänning på 12 V



eftersom det behövdes mer spänning för att observera ändring på ström så att temperaturen kan beräknas så rätt som möjligt.

Många andra elektroniska produkter såsom temperaturmätare är nu digitala. Detta betyder dock inte att analoga system tillhör äldre teknologin. Eftersom nästan alla digitala elektroniska system har massor med integrerade analoga elektroniska system. Det är omöjligt att tillverka elektroniska enheter med digital logik såsom DHT11 utan att förstå logiken i analog elektronik. De komponenter som används mest av digitala system såsom IC-kretsar är faktiskt vanliga elektroniska kretsar integrerade i ett litet chip. Många sådana förminskade analoga kretsar går samman för att bilda en digital produkt genom att etablera en fungerande logik. Detta projekt visade hur en digital enhet fungerar i en krets och vilken typ av analog logik som kan finnas under en digital enhet. I en värld där tekniken utvecklas varje dag är 1ED041-kursen som lär ut de elektroniska kretsarna som utgör logiken för 0 och 1 vilket är den mest grundläggande logik, mycket användbar för framtidens dataingenjörer.

Referenser

[1] *Effect of temperature on PN diode characteristics.*

<https://www.eeeguide.com/effect-of-temperature-on-pn-diode-characteristics/> In *eeeguide*.

[2] *The logarithm equation.* <https://www.eeeguide.com/effect-of-temperature-on-pn-diode-characteristics/> In *eeeguide*.